

С.И. РЫМАРЬ, аспирант, НТУ “ХПИ”

УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ СОРБЕНТОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рассмотрен вопрос применения технологии объемного нагрева сорбента в электромагнитном поле высокой частоты и предложена установка для промышленной регенерации сорбентов.

Ключевые слова: регенерация, сорбент, электромагнитное поле.

Постановка проблемы. В энергетической промышленности в больших количествах используется трансформаторное масло. В процессе эксплуатации в масло попадают различного рода примеси и образуются продукты старения, снижающие его эксплуатационные характеристики и подлежащие удалению. Одной из наиболее опасных примесей в трансформаторном масле является вода, поглощаемая маслом из атмосферы. Удаление продуктов старения масла может производиться либо постоянно в процессе эксплуатации оборудования, либо периодически при достижении эксплуатационными характеристиками предельно допустимых значений [1].

Анализ литературы. Наибольшее распространение для очистки масла в эксплуатации получили термосифонные фильтры и адсорберы. Принцип действия этих устройств основан на поглощении соответствующих продуктов старения масел поверхностно-активными веществами – сорбентами. В термосифонных фильтрах осуществляется термодиффузная циркуляция масла сверху вниз через внешний цилиндр, заполненный сорбентом. В адсорберах циркуляция масла принудительная, осуществляемая с помощью масляного насоса, прокачивающего масло снизу вверх. Эффективность очистки масла определяется в основном скоростью потока масла и свойствами сорбента.

Действие сорбента основано на процессах адсорбции, т.е. на поглощении вещества (адсорбата) поверхностью сорбента. Молекулы адсорбата испытывают притяжение со стороны поверхности сорбента и оседают на ней, покрывая эту поверхность слоем адсорбируемых молекул. При этом химической реакции не происходит, и адсорбированные молекулы сохраняют свою индивидуальность. Адсорбционные силы имеют ту же природу, что и силы межмолекулярного взаимодействия, и начинают проявляться при приближении молекул адсорбата к поверхности сорбента на расстояние, соизмеримое размерами молекул. Поэтому наибольшей эффективностью обладают сорбенты, имеющие пористую структуру с размерами пор, соизмеримыми с размерами молекул адсорбата. Для удаления растворённой влаги применяются мелкопористые сорбенты, цеолиты [2].

© С.И. Рымарь, 2013

Скорость адсорбции по мере эксплуатации сорбентов уменьшается и после достижения сорбентом равновесия процесс адсорбции прекращается. При этом необходимо либо заменять сорбент, либо регенерировать его. Экономичность адсорбционного процесса в значительной степени зависит от режима регенерации сорбента, требующего наибольших энергозатрат.

Ранее использовались три метода регенерации сорбента:

1. Выжигание в высокотемпературной печи (400 – 600 °С).
2. Продувка сухим горячим воздухом (установки типа “Суховой”, “ФСМ”).
3. Сушка термовакуумным способом с использованием точечных нагревателей (установка типа ПС-1).

Основными недостатками этих методов является либо большое время регенерации (более 30 часов), либо коксование замасленного сорбента с потерей его до 30%.

Основными факторами, влияющими на эффективность регенерации сорбента, являются:

- выбор оптимальной температуры десорбции сорбента;
- нагрев сорбента до заданной температуры;
- создание равномерного температурного поля внутри адсорбера.

Максимальная температура, которая определяется термической стойкостью цеолитов, составляет 500 – 600 °С. Они переносят продолжительный нагрев под разрежением при температуре 300 – 450 °С без заметных структурных изменений.

Условия проведения процесса десорбции накладывают свои ограничения на выбор оптимальной температуры. В первую очередь необходимо учитывать степень разреженности, создаваемую внутри адсорбера, а также тот факт, что цеолит находится в масляной среде. При больших температурах происходит сначала испарение масла, а затем коксование его на гранулах цеолита, что ведёт к понижению его адсорбционной способности [3, 4].

Одним из основных факторов, определяющим длительность регенерации, является время нагрева сорбента до заданной температуры.

С одной стороны для увеличения скорости нагрева требуется увеличение мощности нагревателей, с другой стороны существуют ограничения по механическим свойствам цеолитов – скорость нагрева не должна превышать 5 – 6 °С/мин.

Равномерность температурного поля внутри адсорбера в первую очередь определяется скоростью нагрева сорбента. Все применяемые ранее нагреватели для нагрева сорбентов достаточно больших объёмов (30 – 50 кг) представляют собой точечные нагреватели. Тепло от локально нагретого сорбента, непосредственно прилегающего к нагревателю, поступает к участкам, удалённым от нагревателя. Теплопередача в системе сорбент-масло происходит, в основном, за счёт теплопроводности самих частиц сорбента и

масла между этими частицами. Так как теплопроводность этих материалов достаточно низкая, между центральными и периферийными участками создаётся большой температурный градиент (десятки градусов). Увеличение мощности нагрева, которое необходимо для уменьшения времени выхода устройства на рабочий режим, приводит к тому, что температурный градиент внутри адсорбера превышает предельно допустимые изменения температуры, тем самым, накладывая ограничения на увеличение скорости нагрева сорбента.

Цель работы. Решить вышеописанное противоречие была призвана технология объёмного нагрева сорбента с помощью электромагнитного поля (ЭМП).

Технология регенерации сорбентов в ЭМП. Практически выяснено, что во всём радиодиапазоне, воздействие электромагнитного поля на вещество является неионизирующим и основные эффекты воздействия обусловлены поляризацией вещества и рассеянием энергии ЭМП вследствие конечных значений мнимой части диэлектрической проницаемости. При таких условиях подводимая к веществу энергия ЭМП, вследствие объёмного рассеяния превращается в тепло, причём основными “мишенями” воздействия является сорбент и влага, заполняющая поры сорбента. Передача тепла от сорбента к влаге происходит за счёт их теплопроводности. Нагрев поглощённой сорбентом влаги в электромагнитном поле КВ-диапазона также обусловлен наличием токов проводимости и поляризацией её молекул [5].

Нагреваясь до критических значений при заданном давлении, вода, кроме расширения, начинает испаряться, мигрируя по микропорам сорбента до его поверхности и далее в направлении потока, создаваемого вакуумным насосом.

Рассмотрение кинетики удаления влаги из объёма сорбента показывает, что вакуумная сушка в комбинации с объёмным нагревом сорбента в поле КВ-диапазона обладает оптимальными свойствами по производительности процесса сушки и длительности сохранения адсорбционных свойств цеолитов.

При электромагнитной сушке разрушение кристаллической решётки исходного цеолита практически не происходит вплоть до температур 400 – 500 °С, однако при этих температурах могут наблюдаться отдельные “спекания” (не более 5%) гранул, а также их разрушение вблизи токонесущих электродов адсорбера.

При реализации адсорбера, в котором высушивание сорбента производится в электромагнитном поле КВ-диапазона при относительно низких давлениях ($p = 0,1 - 0,01$ атм), достигается оптимальное сочетание между производительностью процесса и общей стоимостью оборудования. В частности увеличение глубины вакуумирования приводит к нелинейному возрастанию технических требований и стоимости реализации технологии вакуумирования (насос, герметизация соединений, чистота материалов, в том

числе сорбента и др.), а понижение глубины вакуумирования – к росту рабочих температур в адсорбере и, следовательно, к увеличению энергозатрат.

Установка регенерации и подготовки сорбента. Установка регенерации и подготовки сорбента состоит из двух частей: системы тепловой обработки (нагрева) сорбента и вакуумно-гидравлической системы.

Система тепловой обработки сорбенте предназначена для проведения термической десорбции, т.е. выделения поглощённого компонента (воды) из адсорбента. Она состоит из следующих основных узлов: генератора высокой частоты с блоком питания, согласующего устройства и блока управления.

Вакуумно-гидравлическая система состоит из: адсорбера, индикатора визуального контроля, теплообменника, сборника конденсата и вакуумного насоса, вентилей и отстойника. Она предназначена для удаления влаги из адсорбера.

Принцип действия установки. Принцип действия установки состоит в следующем.

Энергия высокой частоты от генератора через коаксиальную линию поступает в адсорбер, который представляет для генератора ВЧ комплексную нагрузку. Если генератор и нагрузка согласованы, т.е. коаксиальная линия настроена на режим бегущей волны, то вся энергия электромагнитной волны рассеивается в нагрузке. Согласование генератора и нагрузки осуществляется с помощью согласующего устройства, реактивное сопротивление которого компенсирует реактивное сопротивление нагрузки, а активное согласуется с выходным сопротивлением генератора.

Для уменьшения температуры испарения воды и повышения эффективности десорбции в адсорбере создаётся вакуум порядка 10000 Па. Вакуум создаётся с помощью вакуумного насоса (типа 2НВР-5ДМ). Пары влаги через сильфонные металлические рукава поступают в теплообменник, где и происходит их конденсация. Далее сконденсированная вода поступает в сборник конденсата, в котором имеется мерная линейка для определения количества сконденсированной влаги.

Между адсорбером и теплообменником вмонтирован индикатор визуального контроля испарения, по которому можно визуально определить начало процесса испарения.

Оперативная количественная оценка процесса испарения осуществляется с помощью контрольного теплообменника, расположенного за индикатором визуального контроля.

Управление мощностью генератора и контроль температуры внутри адсорбера осуществляется с помощью датчика температуры, вмонтированного в адсорбер. Кроме того, в конструкции адсорбера предусмотрены три технологические измерителя температуры, используемые для исследования температурного поля внутри адсорбера.

Включение установки и контроль режимов работы электрических агрегатов осуществляется с помощью блока управления.

Выводы. Разработанная установка регенерации сорбента в ЭМП увеличить начальную сорбционную емкость сорбента на 6 – 15%, увеличить количество циклов регенерации вследствие снижения пространственно-временных градиентов температуры и давления, снизить общие энергозатраты на регенерацию трансформаторных масел вследствие оптимальности сочетания режимов нагревания, вакуумирования и охлаждения водяного пара.

Эффективность предложенной установки подтверждается модельными расчетами распределения электрических полей и рядом новых технических решений, защищенных Патентами Украины [6, 7].

Список литературы: 1. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 590 с. 2. Монастырский А.Е. Регенерация, сушка и дегазация трансформаторного масла. Учебное пособие. СПб.: Петербургский энергетический институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов Минэнерго РФ, 1997. – 42 с. 3. Лукин В.Д., Анципович И.С. Регенерация адсорбентов. – Л.: Химия, 1983. – 256 с. 4. Головкин Г.А. Установка для производства инертных газов. – Л.: Машиностроение, 1974. – 384 с. 5. Кивва Ф.В., Горобец В.Н., Зотов С.М. и др. Новые технологии обработки сорбентов // Новини енергетики – 2003. – № 1-2. – С. 26-31. 6. Патент 55348 Україна, МПК F26B 3/00 Пристрій для сушіння сипучих дисперсних матеріалів / Горобець В.М., Кивва Ф.В., Зотов С.М., Головкин М.І., Гончаренко Ю.В., Коворотний О.Л., Говорищев О.І., Домнін І.Ф., Римар С.І., Дорошенко С.М.; власник Інститут іоносфери. – № u201006982; заявл. 07.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23, 2010. 7. Патент 56705 Україна, МПК F26B 3/00 Пристрій для сушіння сипучих дисперсних матеріалів / Горобець В.М., Кивва Ф.В., Зотов С.М., Головкин М.І., Гончаренко Ю.В., Коворотний О.Л., Говорищев О.І., Домнін І.Ф., Римар С.І., Дорошенко С.М.; власник Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України. – № u201008157; заявл. 30.06.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2, 2011.

Поступила в редколлегию 19.11.2013

УДК 621.371

Установка для регенерации сорбентов в электромагнитном поле / С.И. Рымарь // Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Радіофізика та іоносфера. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2013. – № 33 (1066). – С. 66-70. Бібліогр.: 7 назв.

Розглянуто питання застосування технології об'ємного нагріву сорбенту в електромагнітному полі високої частоти і запропонована установка для промислової регенерації сорбентів.

Ключові слова: регенерація, сорбент, електромагнітне поле.

The question of the application of technology volumetric heating the sorbent in the electromagnetic field of high frequency and proposed systems for industrial regeneration of sorbents are considered.

Keywords: regeneration, sorbent, electromagnetic field.